

УДК 629.027, 629.3.014, 621.313

Н.Е. СЕРГИЕНКО, Б.Г. ЛЮБАРСКИЙ, М.И. ПАСТУЩИНА**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЯХ**

Электроприводы (ЭП) сегодня находят широкое применение в автомобилестроении. Важным требованием предъявляемым к данным двигателям является высокий КПД, надежность, компактность. В статье выполнен аналитический обзор конструкций и сравнение различных вариантов ЭП в современных автомобилях. Описаны особенности систем их управления и использования различных схем, конструкций электрического привода в составе электромеханических преобразователей. Представлены рабочие характеристики и потребление энергии основными электромеханическими устройствами автомобиля.

Ключевые слова: анализ, автомобиль, электропривод, электродвигатель, электроамортизатор, система управления, электрическая трансмиссия.

М.Є. СЕРГІЄНКО, Б.Г. ЛЮБАРСЬКИЙ, М.І. ПАСТУЩІНА**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛЯХ**

Электроприводы (ЕП) сьогодні знаходять широке застосування в автомобілебудуванні. Важливою вимогою, що пред'являється до даних двигунів є високий ККД, надійність, компактність. У статті виконано аналітичний огляд конструкцій і порівняння різних варіантів ЕП в сучасних автомобілях. Описано особливості систем їх управління і використання різних схем, конструкцій електричного приводу в складі електромеханічних перетворювачів. Представлені робочі характеристики і споживання енергії основними електромеханічними пристроями автомобіля.

Ключові слова: аналіз, автомобіль, електропривод, електродвигун, електроамортизатор, система управління, електрична трансмісія.

N.E. SERGIENKO, B.G. LYUBARSKY, M.I. PASTACHINA**FEATURES OF USING ELECTRIC DRIVE AND SYSTEMS CONTROLS ON MODERN CARS**

Electric drives (ED) are now widely used in the automotive industry. An important requirement for these engines is high efficiency, reliability, compactness. The article contains an analytical review of the structures and a comparison of various variants of electronic signature in modern automobiles. The features of control systems and the use of various circuits, electric drive designs as part of electromechanical converters are described. The working characteristics and energy consumption of the main electromechanical devices of the car are presented.

Keywords: analysis, automobile, electric drive, electric motor, electric shock absorber, control system, electric transmission.

Введение. Тенденции развития конструкций автомобилей, связанные с повышением производительности, экологичности, экономичности, надежности, комфорта и безопасности движения, приводят к тому, что роль электрооборудования и электроники постоянно возрастает. Учитывая это, неуклонно возрастает необходимость расширение использования ЭП на автомобиле. Ранее на грузовых автомобилях устанавливали минимум 5 электродвигателей, а на легковых – порядка 7 и более, сегодня в зависимости от класса и уровня комфортабельности количество увеличилось.

ЭП представляет собой электромеханическую систему, состоящая из одного или нескольких преобразователей, механизма привода устройства и системы управления. Основными устройствами автомобиля, где применяется ЭП, являются ДВС, трансмиссия (сервоприводы в АКП, устройства включения блокировок, подвески и т.д.), системы безопасности и комфорта – климатическая установка, предпусковые подогреватели, стекло- и фарочистители, механизмы подъема стекол, антенн, перемещения сидений и др. Таким образом, современный ЭП представляет собой сложный комплекс, включающий электродвигатель, силовой преобразователь и систему управления.

Цель работы – анализ конструкций и особенностей использования ЭП на современных автомобилях.

Основная часть

Чтобы лучше разобраться в многообразии ЭП, которое представляет современный авторынок, стоит рассмотреть существующие их виды.

На современном автомобиле установлено большое число агрегатов, требующих для приведения в действие затрат механической энергии. Эту энергию они получают в большинстве случаев от электродвигателей.

Электродвигатель с механизмом передачи механической энергии и схемой управления электродвигателем образуют систему электропривода автомобиля. Для передачи энергии в автомобильном электроприводе используются зубчатые и червячные передачи, кривошипно-шатунные механизмы. Часто электродвигатель и механизм передачи механической энергии объединяют в моторедуктор или электродвигатель совмещают с исполнительным элементом.

С учетом используемого количества фаз в сети автомобиля, электрические устройства разделяют на: одно- и трехфазные. Если привести реальные образцы, используемые известными автопроизводителями, то хороший пример трехфазного агрегата асинхронного типа – Volt от Chevrolet рис. 1. Он является гибридным автомобилем. Пример трехфазного синхронного двигателя – i-MiEV от Mitsubishi [1], который осуществляет привод колес исключительно от электродвигателя.

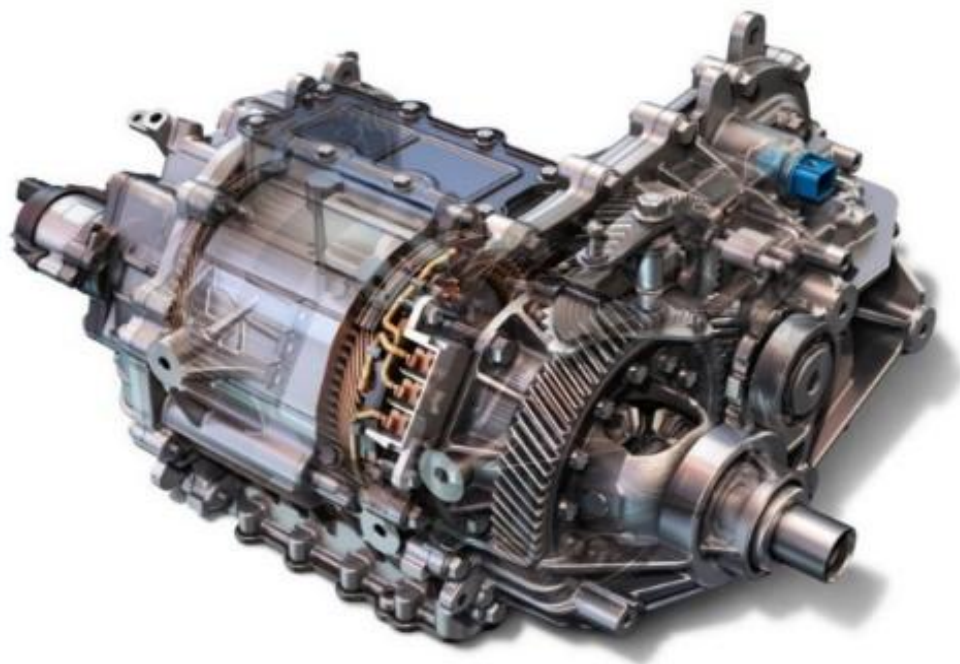


Рис. 1. Силовая установка электромобиля Chevrolet Volt

Следует отметить, что двигатели разных производителей отличаются массой, мощностью, габаритами, характеристиками и выходными параметрами (см. рис. 2).

В конструкциях электромобилей зачастую

задействуются коллекторные моторы. Как вариант – автомобиль «Санрейсер», в котором установлен как раз безколлекторный двигатель от компании General Motors. При массе 3,6 кг его КПД составляет 92% [1].



Рис. 2. Виды электродвигателей

Нельзя не отметить еще один вариант конструкции двигателя, который используется в некоторых современных моделях автомобилей. Это система мотор-колесо (рис. 3). Пример – спортивный автомобиль Volage. В такой конструкции предусмотрена возможность регенерации энергии торможения. Для этого используется двигатель Active Wheel. Он весит всего 7 кг, что позволяет добиться приемлемой массы колеса – 11 кг.

Электроприводы автомобиля приводят в действие вентиляторы отопителей и системы охлаждения двигателя, стеклоподъемники, устройства выдвижения антенн, стеклоочистители, насосы омывателей, фарочистители, подогреватели, топливные насосы и т.п.

На основании анализа рассмотренных конструкций представим вариант классификации ЭП (рис. 4).



Рис. 3. Электромотор колеса



Рис. 4. Классификация конструкций ЭП

Характер изменения нагрузки рабочего механизма определяет режим работы двигателя [2]. Чтобы учесть это, рассчитывают и строят нагрузочные диаграммы, представляющие собой зависимость тока τ и вращающего момента M двигателя от времени t .

Различают следующие режимы работы электродвигателей: 1) продолжительный; 2) кратко-кратковременный; 3) повторно-кратковременный. Продолжительный режим (рис. 5) характеризуется такой длительностью, при которой за время работы двигателя температура всех устройств ЭП достигает установившегося значения. В качестве примера ЭП с длительным режимом работы можно назвать отопители (зимой) и вентиляторы салона автомобиля.

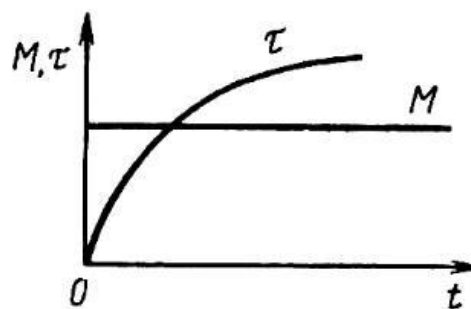


Рис. 5. Диаграммы работы двигателя в продолжительном режиме

При кратковременном режиме (рис. 6) рабочий интервал относительно краток и температура двигателя не успевает достигнуть установившегося значения. Перерыв в работе исполнительного механизма достаточный для охлаждения двигателя до температуры окружающей среды. Такой режим работы характерен для механизмов подъёма стёкол, антенн, перемещения сидений и др.

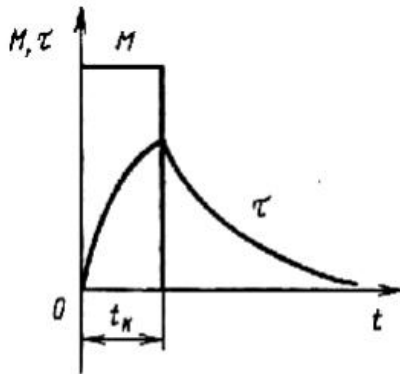


Рис. 6. Диаграмма работы двигателя в кратковременном режиме (t_k – время пуска)

При повторно-кратковременном режиме (рис. 7) рабочий интервал времени чередуется с паузами (остановка или холостой ход), причём, ни в один из интервалов работы температура двигателя не достигает установившегося значения, а во время снятия нагрузки двигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды. В таком режиме могут работать стеклоочистители, стеклоомыватели и другие механизмы.

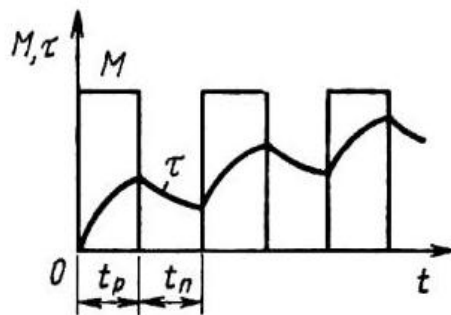


Рис. 7. Диаграмма работы двигателя в повторно-кратковременном режиме (t_p – время работы; t_n – время паузы)

ЭП обладает бесспорными преимуществами по сравнению с механическим приводом, к которым относятся:

- высокий к. п. д. (до 97%) [3];
- высокая надёжность и долговечность;
- надёжная автоматическая защита машины от поломок при динамических нагрузках и перегрузках;
- удобство дистанционного управления;
- простота и удобство обеспечения реверса;
- возможность автоматизации процессов управления и регулирования скорости рабочего хода;

– возможность уменьшения габаритных размеров при снижении массы машины и достижения более совершенных форм;

– улучшение условий путем применения электрического обогрева и вентиляции, а также уменьшения шума и вибрации.

Требования, предъявляемые к ЭП, устанавливаемых в том или ином узле автомобиля, обусловлены режимами работы этого узла, требованиями компоновки, условиями работы.

С увеличением передаваемой мощности растут абсолютные размеры элементов силовых передач и усложняется управление машиной. В этом случае представляется рациональным преобразовать механическую энергию двигателя в электрическую и передать ее к исполнительным механизмам по проводам. Одним из способов управления электрическими устройствами является широтно-импульсное управление (ШИУ). Данная система управления позволяет регулировать соотношение электричества и максимальной мощности, которую усилитель обеспечивает двигателю. ШИМ – процесс управления мощностью, подводимой к нагрузке, путём изменения скважности импульсов при постоянной частоте [3]. При ШИМ (рис. 8) частота повторения импульсов не меняется, но меняется длительность импульсов и, соответственно, скважность. Из преимуществ использования – уменьшение потребляемой мощности, повышение точности регулирования выходных параметров, рациональное использование энергии ДВС. Как следствие этого – экономия топлива, увеличение ресурса, снижение динамической нагруженности.

На рис. 8 показано график иллюстрирующий применение трехуровневой ШИМ для управления электродвигателем, которая используется в асинхронных электродвигателях с переменной частотой [4]. Напряжение от ШИ-модулятора, подаваемое на обмотку машины изображено под цифрой 1 (V). Магнитный поток в статоре машины показан цифрой 2 (В). Здесь магнитный поток имеет приблизительно синусоидальную форму благодаря соответствующему закону ШИМ.

Потребляемая электрическая мощность определяется по формуле:

$$P = U \cdot I_n. \quad (1)$$

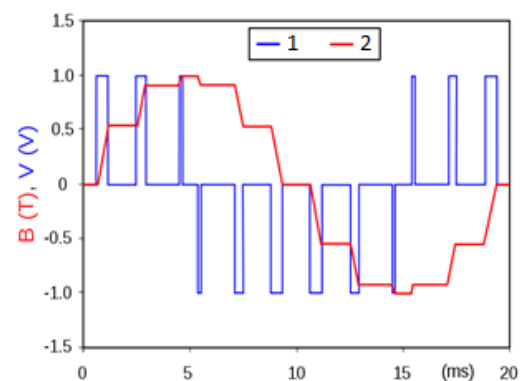


Рис. 8. График, иллюстрирующий применение трехуровневой ШИМ для управления электродвигателем

В бортовой сети автомобиля напряжение поддерживается постоянным ($U=\text{const}$), а ток нагрузки определяется:

$$I_n = \sum I_{\text{экв}} = \sum I_{\text{ни}} \cdot K_{ti} \cdot K_{ni}, \quad (2)$$

где $I_{\text{ни}}$ – номинальный ток i -го потребителя;
 K_{ti} – коэффициент времени работы i -го потребителя относительно работы автомобиля;
 K_{ni} – коэффициент нагрузки.

Тогда:

$$P = U \cdot \sum I_{\text{ни}} \cdot K_{ti} \cdot K_{ni}. \quad (3)$$

Расчетное значение тока i -го потребителя определим по формуле:

$$\sum I_{\text{ни}} = \frac{I_{\text{ни}} \cdot t_{ti}}{t_{ti} + t_{ci}}, \quad (4)$$

где t_{ti} – длительность действия импульса тока;

t_{ci} – длительность периода скважности.

Учитывая изменения длительности подачи импульса тока, можно определить экономию энергии.

ЭП на современных автомобилях постоянно модернизируются. Одним из перспективных направлений их усовершенствования – применение дополнительно в системе возбуждения постоянных магнитов. Применение постоянных магнитов позволяет в значительной мере повысить технико-экономические показатели электродвигателей: уменьшить массу, габаритные размеры, повысить КПД.

Благодаря независимому возбуждению все электродвигатели могут быть реверсивными [5]. Анализируя варианты ротативных и линейных конструкций ЭП (см. рис. 4), можно отметить следующее. Ротативная группа включает преобразователи постоянного тока (ПТ), синхронный генератор с постоянными магнитами (СГПМ), вентильно-индукторный (ВИ), асинхронный (АС). Группа линейных преобразователей включает: индукторный (И) и синхронный линейный с постоянными магнитами (СЛПМ) [6]. Результаты сравнительного анализа различных типов ЭП представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результат анализа ЭП различных типов

Показатели	Типы преобразователей					
	Ротативные				Линейные	
	ПТ	СГПМ	ВИ	АС	И	СЛПМ
Коэффициент полезного действия (КПД)	в	в	н	с	н	в
Масса и габариты	н	с	н	с	с	в
Конструктивное исполнение	н	н	с	с	в	н
Механическая нагруженность	н	н	в	с	в	н

Показатель: "в" – высокий, "с" – средний "н" – низкий

Анализ условий работы, конструкций, схем преобразователей показал следующее [6, 7]:

– для рекуперации энергии колебательных масс подвески транспортного средства целесообразно использовать линейный электромеханический преобразователь;

– рационально использовать ЭП с постоянными магнитами;

– на первых этапах создания наиболее приемлем трехфазный преобразователь.

Одним из направлений реализации задачи повышения эффективности использования энергии

автомобиля является рекуперация кинетической энергии колебательных масс транспортного средства во время движения по неровностям. Автор работы [7] инженер Амар Боуз начал работу над созданием электроподвески Bose Suspension System в 1978 году. Макет изготовлен в 1995. В конструкции на базе седана Lexus LS400 (рис. 9) пружинную подвеску заменили торсионной, а амортизаторы – линейными электродвигателями, которыми через мощные усилители управлял компьютерный блок на основе информации от датчиков хода каждого из колес.

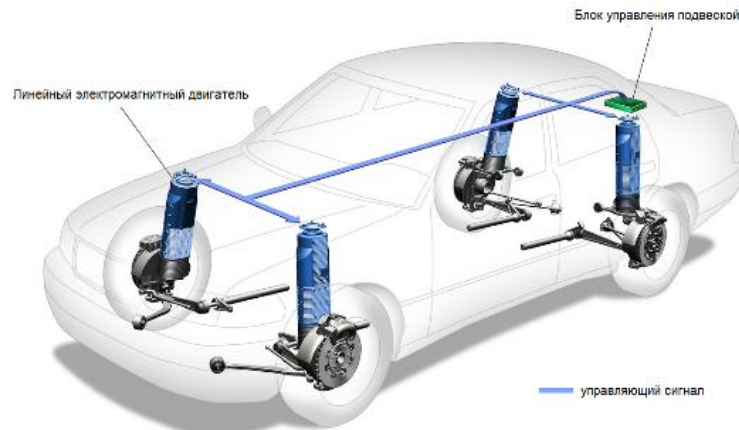
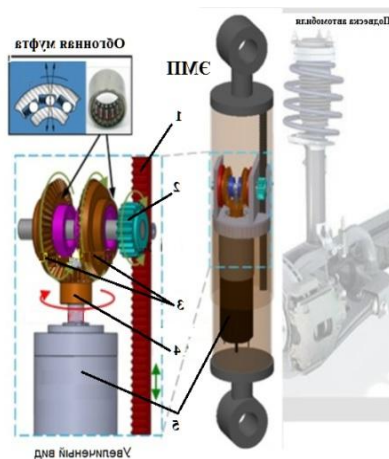


Рис. 9. Принципиальная схема системы Bose «квадро»

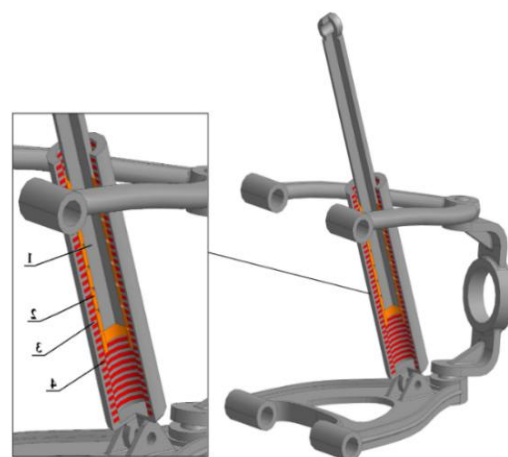
Идея такой подвески заключается в следующем: когда колесо опускается в яму на ходе отбоя, электродвигатель активно «помогает» ему идти вниз, а на ходе сжатия «втягивает» колесо вверх. В работе главное внимание уделялось обеспечению плавности движения автомобиля и снижения крена кузова при повороте. Авторы патента [8] предлагают конструкцию электрического амортизатора, включающего в себя витой элемент, наружная часть которого выполнена из электропроводного материала. Магнитный элемент состоит из стержня, на центральной оси которого расположены магниты. Наружная часть выполнена таким образом, что в нее может войти стержень с магнитами.

Стержень с магнитами формируют магнитное поле, величина которого зависит от того на сколько введен стержневой магнит. Корпус одним концом подключен к выводу магнитного соединения.

Оригинальное решение представлено в работе [9]. Предлагается использовать в составе амортизатора подвески автомобиля электрический генератор (рис. 10). Амортизатор имеет реечно-шестеренчатый механизм, который преобразует линейное движение поршня во вращательное движение ротора. Одностороннее вращение ротора при различном направлении движения колес обеспечивается двумя коническими шестернями, включенных через две обгонные муфты, имеющие противоположные по направлению механизмы замыкания, на одну ведомую шестерню, которая соединена с якорем генератора. Такая схема усложняет конструкцию, а применение обгонных муфт при ударных нагрузках в подвеске приводит к существенному снижению их ресурса. В работе [10] рассмотрен метод контроля колебаний подвески автомобиля с помощью управляемых электромеханических



а)



б)

Рис. 10. Варианты электромеханического амортизатора:

- 1 – рейка; 2 – шестерня; 3 – ведущие конические шестерни; 4 – ведомая коническая шестерня; 5 – генератор
 а – ЭМП вращательного типа; 1 – ротор; 2 – постоянные магниты; 3 – корпус; 4 – катушки обмоток фаз
 б – ЭМП линейного типа

амортизаторов, активируемых с помощью генераторов энергии без использования внешнего источника питания. Вращательное движение ротора генератора

усиливается передачей и активирует генератор для вырабатывания электроэнергии. Сгенерированное напряжение при работе амортизатора

экспериментально оценено по величине и частоте. Для оценки силы гашения колебаний с использованием регенерированного напряжения представлена модель. С помощью контроллера Skyhook создан и экспериментально реализован механизм уменьшения колебаний путем регенерирования энергии. Было экспериментально доказано, что при движении по неровной дороге параметры подвески можно контролировать путем активации электроамортизаторов определенной величиной регенерированного напряжения.

В электромеханической трансмиссии механическая энергия двигателя в генераторе преобразуется в электрическую энергию и затем снова в тяговых электродвигателях преобразуется в механическую. Очевидно: что двойное преобразование энергии из одного вида в другой связано с определенными потерями, однако: эти

потери зачастую ниже потерь в механической трансмиссии, а кроме того, применение электрической трансмиссии [11] (см. рис. 11) имеет ряд существенных достоинств. Безусловно, электрическую проводку для подвода энергии к электродвигателю, установленному в колесе автомобиля: подвести значительно проще, чем от силовой установки к ведущему колесу посредством различного рода механических передач. Во-вторых, электрические двигатели имеют приближенную к идеальной характеристику изменения крутящего момента в зависимости от частоты вращения вала (якоря). При увеличении частоты вращения крутящий момент на валу уменьшается, а при уменьшении частоты вращения - крутящий момент увеличивается. При этом произведение частоты вращения вала на крутящий момент в каждый момент времени остается постоянным (в идеале).

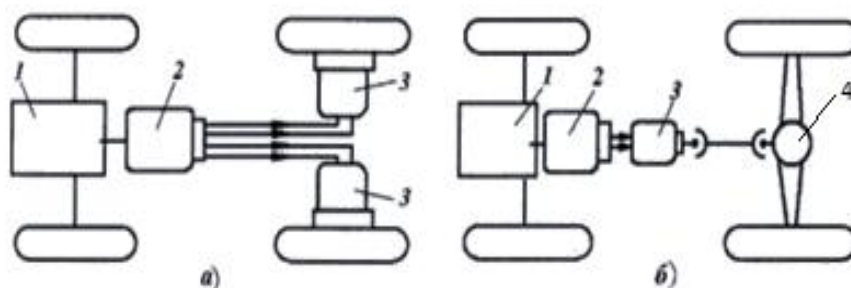


Рис. 11. Схемы электрической (а) и электромеханической (б) трансмиссий:
1 – ДВС; 2 – генератор; 3 – электродвигатель; 4 – редуктор

Исходя из приведенных выше материалов, становится очевидным, что электродвигатель является почти идеальным устройством для автоматической трансмиссии (рис. 12), подстраивающей величину крутящего момента на колесах автомобиля в зависимости от условий движения. Возросла нагрузка, скорость снизилась, крутящий момент автоматически

вырос. Однако широко применять электродвигатели в качестве силовой установки современных автомобилей пока не удастся, поскольку нет возможности запастись электроэнергией в достаточном количестве. Привязав автомобиль проводами к какому-нибудь источнику электрической энергии, исключаем его длительную автономность.

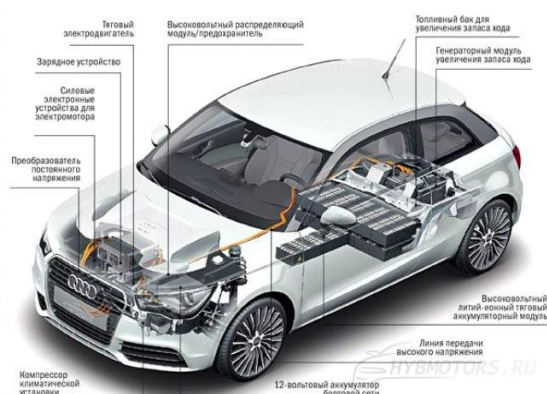


Рис. 12. Устройство электроавтомобиля с применением электрической трансмиссии

Работа современного электрического двигателя основана на принципе электромагнитной индукции, что подразумевает собою выработку электродвижущей силы в замкнутом контуре с изменением магнитного потока. Технология не нова,

однако современные достижения науки и техники позволили развить ее до невероятных высот. Немалую роль в этом сыграла и возросшая в десятки раз емкость аккумуляторных батарей, которые

выполняют роль топливного бака в современных электрических и гибридных автомобилях.

Электрическая трансмиссия в совокупности с механической ранее применялась на грузовых автомобилях повышенной грузоподъемности, сегодня – на современных легковых автомобилях [12]. Основными элементами электрической трансмиссии (рис. 12, а) являются генератор 2, приводимый в действие ДВС, и электрические двигатели 3, расположенные непосредственно в ведущих колесах автомобиля. Достоинством данного вида трансмиссии является то, что генератор и тяговые электродвигатели могут устанавливаться в любом месте, диктуемом компоновкой автомобиля, при этом связь между ними поддерживается с помощью электрических проводов, которые можно проложить как угодно и где угодно, без ущерба внутреннему объему автомобиля.

Тем не менее, в таком упрощенном виде электрическая трансмиссия применяется редко. Чаще для увеличения крутящего момента в трансмиссию вводятся элементы механической трансмиссии. В таких случаях применяется один тяговый двигатель, а мощность к ведущим колесам передается посредством механических элементов – карданных передач и ведущих мостов (рис.11, б).

При установке тяговых электродвигателей непосредственно в колесах автомобиля используют планетарные зубчатые редукторы с передаточным числом от 15 до 20 [13].

Электромеханические передачи нашли применение на автомобилях-самосвалах большой грузоподъемности. В частности, все самосвалы марки БелАЗ (рис. 14) грузоподъемностью свыше 75 тонн оснащаются электромеханическими трансмиссиями [14].



Рис. 13. Карьерный самосвал БелАЗ:

- 1 – переднее управляемое колесо с барабанным тормозом; 2 – гидропневматическая независимая подвеска передних колес; 3 – дизель, сблочированный с генератором;
- 4 – задний ведущий мост со встроенными в ступицы тяговыми электродвигателями

В зарубежном автомобилестроении электромеханические трансмиссии также применяют на самосвалах большой грузоподъемности и на многозвенных автопоездах высокой проходимости.

Перспективным считается применение электромеханических трансмиссий на многоприводных автомобилях высокой проходимости и автобусах большой вместимости.

Для обеспечения надежного пуска ДВС при низких температурах используются передпусковые подогреватели. Назначение в них электродвигателей – поддержания горения в подогревателях, подача воздуха, топлива и обеспечение циркуляции жидкости. Особенностью режима работы является то, что при таких температурах необходимо развивать большой пусковой момент и функционировать непродолжительное время. Для обеспечения этих требований электродвигатели предпусковых подогревателей выполняются с последовательной обмоткой и работают в кратковременном и повторно-кратковременном режимах.

Вентиляционные и отопительные установки предназначены для обогрева и вентиляции салонов легковых, грузовых автомобилей и автобусов. Действие их основано на использовании тепла двигателя внутреннего сгорания, а производительность в значительной степени зависит от характеристик ЭП. Все электродвигатели такого назначения представляют собой двигатели длительного режима работы, эксплуатируемые при температуре окружающей среды - 40...+70°C [15]. В зависимости от компоновки на автомобиле отопительной и вентиляционной установок электродвигатели имеют разное направление вращения. Эти электродвигатели одно- или двухскоростные в основном, с возбуждением от постоянных магнитов. Кроме отопительных установок, использующих тепло ДВС, находят применение отопительные установки независимого действия. В этих установках электродвигатель, имеющий два выходных вала, приводит во вращение два вентилятора, один направляет холодный воздух в теплообменник, а затем в салон, другой подает воздух в камеру горения.

К электродвигателям, используемым для привода стеклоочистителей, предъявляются требования обеспечения жесткой механической характеристики, возможности регулирования частоты вращения при различных нагрузках, повышенного пускового момента. Это связано со спецификой работы стеклоочистителей – надежной и качественной очистки поверхности ветрового стекла в различных климатических условиях. Для обеспечения необходимой жесткости механической характеристики используются двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, двигатели с параллельным и смешанным возбуждением, а для увеличения момента и снижения частоты вращения используется специальный редуктор. В некоторых электродвигателях редуктор выполнен как составная его часть [15]. В этом случае электродвигатель называют моторредуктором. Изменение скорости электродвигателей с электромагнитным возбуждением достигается изменением тока возбуждения в параллельной обмотке. В электродвигателях с возбуждением от постоянных магнитов изменение

частоты вращения якоря достигается установкой дополнительной щетки.

Характеристики электродвигателей привода вспомогательного оборудования приведены в табл. 2.

При работе ДВС затрачивается определенная мощность для работы ЭП вспомогательного оборудования (см. рис. 14).

Таблица 2 – Характеристики ЭП различного применения [15]

Параметр/ потребитель	Номинальная мощность, Вт	Номинальные обороты, об/мин
ЭП малой мощности		
Предпусковой подогревателей	180	6500
Вентиляционная и отопительная установки	25-35	2500-3000
Стеклоочиститель	12-15	2000-3000
Водяной насос	20-30	2000-3500
Генератор	800-1500	1500-6000
ГУР(ЭУР)	300-400	-
Обогреватель салона, климатконтроль	210	-
ЭП высокой мощности, кВт		
Трансмиссия электромобиля	65-310	8000-16000
Трансмиссия гибридного автомобиля	45-85	4000-7000

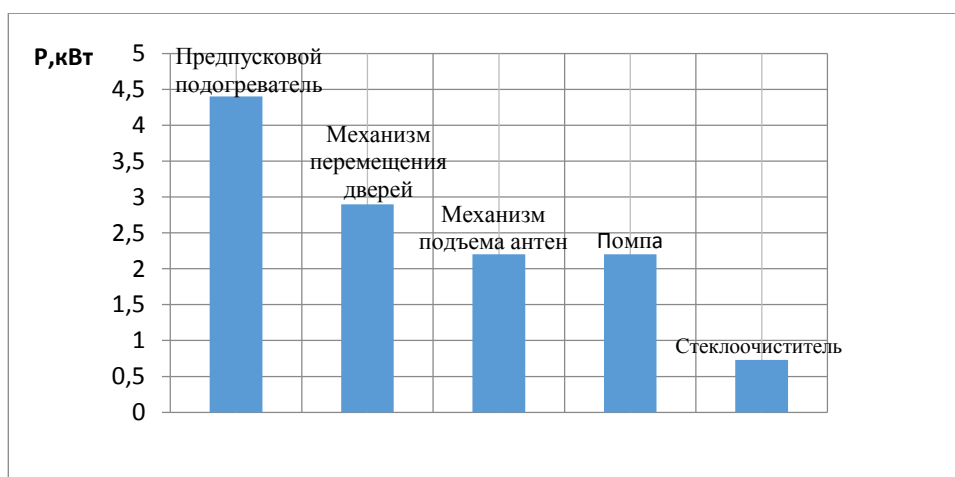


Рис. 14. Затраты мощности на работу устройств вспомогательного оборудования

Выводы. В ходе анализа особенностей использования ЭП на современных автомобилях можно отметить то, что он может обеспечивать механической энергией подавляющее большинство узлов и агрегатов и может в силу этого рассматриваться как главный или дополнительный поставщик механической энергии, полученной из электрической в результате электромеханического преобразования. При этом появляется возможность организовать эффективное использование мощности двигателя или энергии накопителя и автомобиля, обеспечивая при этом экономию энергетических источников. Благодаря использованию современных конструкций ЭП и их систем управления возможно

снижение массово-габаритных показателей узлов автомобиля, а также повышение их показателей.

Список литературы

1. Двигатель электромобиля URL: <https://hevcars.com.ua/reviews/dvigatелеlektromobilya> (дата обращения 27.10.18).
2. Режимы работы электропривода URL: <http://el-dvizhok.ru/rezhimy-raboty-elektroprivodov> (дата обращения 27.10.18).
3. Как это – быть разработчиком ПО для автомобилей. Часть 2/2. URL: <https://habr.com/post/277315> (дата обращения 02.11.18).
4. Широтно-импульсная модуляция. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 4.11.18).
5. Сергиенко А.Н. Сергиенко Н.Е., Любарский Б.Г. Имитационное моделирование гибридного автомобиля с последовательно-

- параллельным электроприводом силовой установки с синхронным электродвигателем с постоянными магнитами. // *Вісник НТУ «ХПІ»: Зб. н. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування*. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. №18. С. 51-54.
6. Сергиенко А.Н. Развитие теоретических основ рационального использования энергии автомобиля с гибридной силовой установкой и электроамортизаторами *Автореф. Дис. канд. техн. наук.* – Харьков, 2014. – 20 с.
 7. *Bose suspension system-white paper*, Bose Company 2004. URL: <http://www.bose.com> (дата звернення 2.11.18).
 8. Zuo Lei, Tang Xiudong, Zhang Pei Sheng Патент № US2011/024699 США Electricity generating shock absorbers 2012. 28 с.
 9. Lei Zuo, Brian Scully, Jorgen Shestani Design and characterization of an electromagnetic energy harvester for vehicle suspensions / *Smart Materials and Structures*. 2010. №19. P. 1-11.
 10. S-B Choi, M-S Seong and K-S Kim Vibration control of an electrorheological fluid-based suspension system with an energy regenerative mechanism / *Journal of Automobile Engineering*. 2009. april, vol. 233. P. 459-470.
 11. Сергієнко М.Є Худолій А.І., Сергієнко А.М. Пат. №93154. *Пристрій для рекуперації енергії коливань транспортного засобу* 2011
 12. А.Н. Сергиенко Б.Г. Любарский, Н.Е. Сергиенко Анализ конструкций электромеханических преобразователей и выбор схемы электроамортизатора неподрессоренных масс транспортного средства. *Автомобильный транспорт*. Харків: ХНАДУ, 2012. С. 18-25.
 13. Сергієнко М.Є., Любарський О.М., Пастушина М.І. Оцінка впливу управління навісним обладнанням на експлуатаційні показники автомобіля *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н.-практ. конференції MicroCAD-2018* ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 187.
 14. Сергиенко Н.Е., Любарский Б.Г., Пастушина М.И. Система управления электроамортизатором подвески сидения водителя. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжн. н.-практ. конференції MicroCAD-2017*, ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. С. 192.
 15. *Вспомогательное электрооборудование* URL: https://studopedia.su/15_192704_oborudovaniyaavtomobilya.html/ (дата обращения 27.10.18).
- References (transliterated)**
1. *Dvigatel' elektromobilya* [Electric motor] Available at <https://hevcars.com.ua/reviews/dvigatelelektromobilya> (accessed 10/27/18).
 2. *Rezhimy raboty elektroprivoda* [Modes of operation of the electric drive] Available at: <http://el-dvizhok.ru/rezhimy-raboty-elektroprivodov> (accessed 10/27/18).
 3. *Kak eto – byt' razrabotchikom PO dlya avtomobiley*. Chast' 2/2 [As it is - to be a software developer for cars. Part 2 / 2] Available at: <https://habr.com/post/277315> (access 02.11.18).
 4. *Shirotno-impul'snaya modulyatsiya*. [Pulse Width Modulation] Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (access date 4.11.18).
 5. Sergienko A.N. Sergienko N.E. Lyubarsky B.G. Imitatsionnoe modelirovanie gibridnogo avtomobilya s po-sledovatel'no-parallelnym elektroprivodom silovoy ustanovki s sinkhronnym elektrodvigatелем s postoyannymi magnitami [Simulation of a hybrid car with a series-parallel electric drive of a power plant with a synchronous electric motor with permanent magnets.] *Visnik NTU «KhPI»: Zb. n. prats'. Tematichnyy vipusk: Trans-portne mashinobuduvannya*. [Bulletin of NTU "KhPI": Zb. n. prats' Topical issue: Trans-tailor machine-wrench.] Kharkiv: NTU "KhPI", 2011. №18. pp. 51-54.
 6. Sergienko A.N. Razvitie teoreticheskikh osnov ratsional'nogo ispol'zovaniya energii avtomobilya s gibridnoy silovoy ustanovkoy i elektroamortizatorami [The development of the theoretical foundations of the rational use of the energy of a car with a hybrid power plant and electro-shock absorbers] *Avtoref. Dis. kand. tekhn. nauk* [Author. Dis. Cand. tech. sciences.] - Kharkov, 2014. - 20 p.
 7. *Bose suspension system-white paper*, Bose Company 2004. Available at: <http://www.bose.com> (date of the beast is 2.11.18).
 8. Zuo Lei, Tang Xiudong, Zhang Pei Sheng Патент № US2011/024699 США Electricity generating shock absorbers 2012. 28 с.
 9. Lei Zuo, Brian Scully, Jorgen Shestani Design and characterization of an electromagnetic energy harvester for vehicle suspensions / *Smart Materials and Structures*. 2010. №19. P. 1-11.
 10. S-B Choi, M-S Seong and K-S Kim Vibration control of an electrorheological fluid-based suspension system with an energy regenerative mechanism / *Journal of Automobile Engineering*. 2009. april, vol. 233. P. 459-470.
 11. Pat. No. 93154. IPC F03G7 / 08, B60K 25/00. *Pristryi for re-kuperatsii energii kolivan transport zabobu* / M.E. Sergienko, A.I. Hudoliy, A.M. Sergienko - the applicant and the patent master of the National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute". №200912230; declare November 27, 2009; publ. 01/10/11, Byul. №1.
 12. Sergienko A.N. Lyubarsky B.G., Sergienko N.E. Анализ конструкций электромеханических преобразователей и выбор схемы электроамортизатора неподрессоренных масс [Analysis of the structures of electromechanical transducers and the choice of the electric shock absorber scheme for the unsprung vehicle mass] *Avtomobil'nyy transport* [Automobile transport]. Khariv: KhNADU, 2012. p. 18 25.
 13. Sergienko M.E. Lyubarsky O. M., Pastushin M.I. Assessment of the impact of the hinged equipment management on the performance and performance indicators of the car [Estimation of the influence of the control of hinged equipment on the performance indicators of the car]. *Informatsiyni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidey KhXVI mizhn. n.-prakt. konferentsii MicroCAD-2018* [Information technologies: science, technology, technology, education, health: reports theses XXVI intern. n.-pract Conference MicroCAD-2018] ed. prof. Falcon E.I. Kharkiv: NTU "KhPI". 2018. p. 187.
 14. N.E. Sergienko, B.G. Lyubarsky, M.I. Pastushchina Sistema upravleniya elektroamortizatorom podveski sideniya voditelya [Electric suspension control system for the driver's seat] *Informatsiyni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidey KhXVI mizhn. n.-prakt. konferentsii MicroCAD-2017* [Informatsiyni tekhnologii: science, technology, technology, education, health: reports theses XXX mizhn. n.-practical Conferences of MicroCAD-2017] ed. prof. Falcon E.I. - Kharkiv: NTU "KhPI". –192 s.
 15. *Vspomogatel'noe elektrooborudovanie* [Auxiliary electrical equipment] Available at: https://studopedia.su/15_192704_oborudovaniyaavtomobilya.html/ (access 10/27/18).

Поступила (received) 29.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сергієнко Микола Єгорович (Сергиенко Николай Егорович, Sergienko Nikalay Egorovich) – кандидат технічних наук, професор. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», м. Харків Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: nesergienko@gmail.com.

Любарський Борис Григорович (Любарский Борис Григорьевич, Lyubarsky Boris Grigorovich) – доктор технічних наук, завідувач кафедри. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Електрично транспорту та тепловозобудування»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: lboris@ukr.net.

Пастушина Марія Ігорівна (Пастушина Мария Игоревна, Pastushchina Maria Igorivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірантка кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: mashapastushina72@gmail.com.